

含噪图像中类线像素的检测淘汰竞争和紧支撑平滑滤波恢复算法

郝 兵 沈庭芝 田 卉

(北京理工大学信息科学技术学院, 北京 100081)

摘要 提出了一种用于检测各向异性像素集合的方向算子结构和一种非正交、非完全重构(PR)的非递归解析和合成滤波方法和算法,这种算法类似于人为组织的比赛,通过检测,淘汰,竞争和紧支撑平滑滤波,采取由粗到细,由直线到折线简化搜索和优化方案,借助少数服从多数,弱勢服从强势的游戏规则,完成含噪图像中类像素的恢复任务。利用丰富的实验来检查提出算法的有效性、一致性和可靠性,得到了满意的结果。最后对算法的恢复结果作了如实的客观评价,并指出了算法的极限和不足。

关键词 图像处理;方向算子;检测;淘汰;竞争;紧支撑平滑滤波

中图分类号 TN911.73 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092912.3367

Restoration Algorithm to Line Similar Pixels in Noisy Image through Detection, Wash out, Competition and Tight Frame Smoothing Filtering

Hao Bing Shen Tingzhi Tian Hui

(School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract A new directional operator structure in uniform standard format is presented. From reference to manmade Game, through detection, wash out, competition and tight frame smoothing filtering, a non orthogonal, non perfect reconstruction and non recursive analysis and synthesis filtering macro plan and micro algorithm are proposed. With simplified and optimized strategy of coarsely detecting lines then delicately searching zigzags, and under game rules of minority obey majority and weaker follow stronger, the task of restoring line similar pixels from noisy image is completed successfully. Variety of experiments are made to check the effectiveness, consistency and reliability of proposed algorithm, and some well results are obtained. At final, some faithful objective evaluate on experimental results of new method is made, and the limitation and shortcoming of it is pointed out.

Key words image processing; directional operator; detection; wash out, competition; tight frame smoothing filtering

1 引 言

从含噪图像中尽可能有效和准确地恢复细节信息是倍受关注的难点和热点问题,而形态随机各异的线条、边缘、拐点以及角点等是这些信息的重要组成部分。以上的五种像素所具有的共同特点是,它们都是由平面中方向和灰度值分布连续变化的,形

状类似于线(直线,曲线或折线)的点集合组成,本文将它们统称为类线像素。

以多分辨率 PR 正交滤波器为基础的小波方法去噪效果比较好^[1~12]。但是面对结构和形状具有集随机性和多样性于一身的类线像素图像细节,小波滤波器表现出明显的不足。一是单纯的从垂

收稿日期: 2009-01-07; 收到修改稿日期: 2009-02-25

基金项目: 国家自然科学基金(60772066)资助课题。

作者简介: 郝 兵(1962—),男,副教授,博士研究生,主要从事图像处理与模式识别等方面的研究。

E-mail: haobing@bit.edu.cn

导师简介: 沈庭芝(1943—),女,教授,博士生导师,主要从事图像处理与模式识别等方面的研究。E-mail: shentz@bit.edu.cn

直、水平两个方向或者两个方向的联合检测方案对不同方向的线像素集合的奇异性检测效果很差。二是源于二维滤波器组的“整行(列)”抽取和插值的分辨率分析框架,相同线像素集合在不同分辨率(抽取率)下的结构和形状相似性差异和变化较大,即分辨率的人为降低给线像素集合带来了不可忽视和不可恢复的结构和形状信息损失,尽管文献[13~16]为了改进这两个弊病作了一些尝试,但是不能从根本上解决面对线像素细节正交 PR 滤波器组所显现出的自身固有的不足。

为解决“各向同性”问题,出现了脊波变换方法,曲线小波变换和方向滤波器等方案^[17~20]。脊波变换不能很好地体现微观局部线像素集合的存在和变化。尽管曲线小波变换采用了多尺度脊波变换的形式,但是该方案也没有在本质上克服“整体求和”所带来的弊病。它们共有的主要问题是在不同方向上考核各向异性问题最终导致类似于“极坐标”的图像网格,这种网格在以矩形网格进行采样方式的数字图像中,存在近点(相对于当前点)过于“稠密”而远点过于“稀疏”的非紧致性。应用内插方法可以得到 Radon 变换的结果,但是内插方法的本质类似于局部平均,而局域平均不能够较好地体现方向和结构各异的线像素集合的细节内容。

已较成熟的图像随机场理论^[21~24]及相关算法^[25,26]也被广泛地用于图像去噪和恢复,但是二维吉布斯场或马尔科夫随机场给出的宏观约束和微观描述与实际被处理的类线像素集合的分布和形状内容相比,现场情形往往是大相径庭,类线像素细节的恢复结果自然也不令人满意。

值得一提的是是一些联合小波和非小波方法^[27~29],这些工作从不同的角度为类线像素恢复方法提供了一些有益的提示和参考。

2 算法的总体设计

首先建立形状和结构与直线像素集合类似(匹配)的检测核函数集,这里称之为方向算子集合。同时,为了体现局部细节,各方向算子的支撑域应局限于图像网格的某一个有限尺寸的矩形之内。由于抽取会给线像素带来损失,采用非抽取的方式进行相应的恢复工作^[31]。直接在矩形网格上构建各方向算子的支撑域,以解决各向异性检测的非紧致性,避免在方向检测时不得不面对的“内插”问题。然后利用非 PR,非正交的解析和重构方法完成线像素的

恢复任务。摆脱递推扫描方式,改在统计宏观约束及微观描述前提下的递推预测和更新优化方法为一切信赖现场方向算子的测量结果,在各向异性方向检测结果的提示下分段搜索和恢复细节内容,逐渐实现最终的类线像素的逼近和拟合。最后是避免进入穷举分析状态,以防计算复杂度的无限增加,采用先粗后细,先简单形状(直线)后复杂形状(折线)的原则处理问题。

3 算子构建和规范

3.1 方向算子的构建

3.1.1 算子的支撑域和权值序列

理想方向算子的支撑域是一个简单问题,在一个 3×3 的矩形中,类似 CCD 成像,假设采用矩形平顶采样,每一个小矩形分别表示一个点像素。用中心的小矩形表示当前点位置,并且设该点的相对坐标是 $(0,0)$,则所有可能的直线方向算子支撑域如图 1 所示。

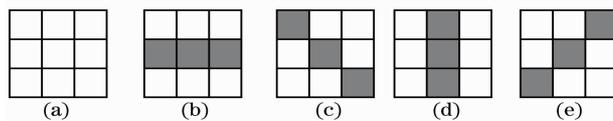


图 1 尺寸 3 的方向算子 (a) 观测窗口; (b) 水平算子; (c) 斜率为 1 的算子; (d) 垂直算子; (e) 斜率为 -1 的算子

Fig. 1 Directional operators with size of 3 (a) Observation window; (b) horizontal operator; (c) operator with tangent 1; (d) vertical operator; (e) operator with tangent -1

假设只有这样的四个检测方向,并且设这四个方向算子分别是 $D_l, l = 1 \sim 4$,则各个方向算子的支撑域是

$$\begin{aligned} x_1 &= [0, 0, 0], & x_2 &= [-1, 0, 1], \\ x_3 &= [-1, 0, 1], & x_4 &= [1, 0, -1]; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y_1 &= [-1, 0, 1], & y_2 &= [-1, 0, 1], \\ y_3 &= [0, 0, 0], & y_4 &= [-1, 0, 1]; \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $x_l, y_l, l = 1 \sim 4$ 分别表示第 l 个方向算子 D_l 支撑域的纵横坐标序列,每一个小矩形的边长为一个单位长度 1,横坐标的符号是左负右正,纵坐标的符号是上负下正。以上方向算子支撑域的统一表示形式是

$$Z_l = (x_l, y_l), l = 1 \sim 4 \quad (3)$$

如果采用均匀权值的话,四个权值序列分别是

$$w_l = \frac{1}{3} [1, 1, 1], l = 1 \sim 4 \quad (4)$$

对于尺寸大于 3×3 方向算子,方向算子中心点及纵横坐标的含义与以上简单算子的相应含义相同。

显然,(1)式~(4)式不能体现足够的方向信息,需要增大观测范围。这样就会带来一些矛盾,一是相同的方向上可能会出现多个符合条件的算子;二是不同方向的方向算子支撑域发生重叠。这样就需要对方向算子的类型和结构作统一的规范。

3.2 方向算子的统一标准

为得到统一的处理方法,一般情况下,设在 $M \times M$ 矩形之内建立方向个数为 $4N$ 的直线方向算子集合。其中 M (一般取 M 为奇数) 称为观测窗口的尺寸,也称为方向算子的长度; N 表示在单个扇区之内的方向算子个数。

一个完整的方向算子包含两个基本内容,一是算子的支撑域 $Z_n, n \in 4N$;二是算子的权值序列 $w_n, n \in 4N$,这样方向为 n 方向算子的全部内容是

$$D_n = (Z_n, w_n), n \in 4N \quad (5)$$

其中有

$$Z_n = \bigcup_{(s,t) \in Z_n} (s,t),$$

$$w_n = \{w_{n,(s,t)}\}_{(s,t) \in Z_n}, n \in 4N.$$

全体方向算子集合的结构如图 2 所示。

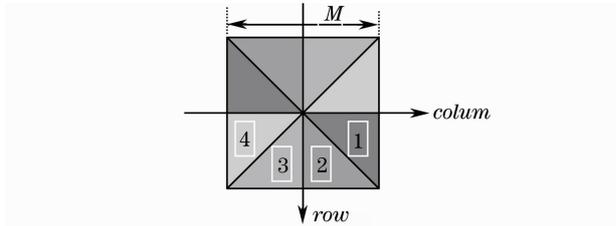


图 2 全体方向算子集合示意图

Fig. 2 Sketch of all directional operators

图 2 中的四个数字 1,2,3,4 分别表示每一个对应的扇区。每两个连续扇区的交界线对应的斜率分别是 $k = 0, k = 1, k = \infty, k = -1$ 。

规定每一个方向算子的支撑域长度都是 M ,即每一个方向算子的支撑域内都包含有包括当前点在内的 M 个点;斜率 $0 \leq k < 1$ 的方向算子,简称算子,属于第 1 扇区,斜率 $1 \leq k < \infty$ 的算子属于第 2 扇区,斜率 $-\infty < k < -1$ 的算子属于第 3 扇区,斜率 $-1 \leq k < 0$ 的方向算子属于第 4 扇区;不同算子尽量采用统一相同的权值序列,例如采用均匀权值的权值序列是 $w_l = \frac{1}{M} \underbrace{[1, \dots, 1]}_{M \text{个}}, l = 1 \sim 4N$ 。另外,为

操作和运算方便起见,尽量采用满足对称性的方向算子,即第 2 扇区的算子支撑域与第 1 扇区的算子

支撑域关于直线 $k = 1$ 对称;第 4 扇区和第 3 扇区的算子分别与第 1 第 2 扇区的对应算子关于纵轴对称。这样可以通过确定第 1 扇区的所有 N 个和斜率为 1 的 1 个,即 $N+1$ 个方向算子而得到其他所有的算子集合。

4 折线集合检测原理

为便于问题的简化,避免出现冗余和混淆,规定折线组合为有向折线段,线段偏下(如图 2 所示)的方向为折线的正向,其相反方向为折线的负向。根据左手定则,即四指指向折线的正向,拇指指向朝向观察者方向时,手心的方向为折线的“下边”,手背的方向为折线的“上边”。

建立双边、双层折线各向异性度量函数,所谓的双边指的是折线组合的上下两边;所谓的双层指的是内外两层,与折线组合“法向距离”为一个像素位置的点(点集)属于内层,与折线组合“法向距离”为两个像素位置的点(点集)属于外层。在每一层内都建立一个度量函数,其中内层用于在双边检测简单折线和边缘;外层(双边)辅助内层用于检测复杂层次折线和过渡边缘,层间度量函数利用“或运算”联系在一起,以避免简单折线或边缘结构与复杂过渡折线或边缘结构之间的冗余和混淆。每一层各向异性度量函数的内容有二个,一是沿折线方向折线与双边像素集合的平均反差绝对值;二是反差的极性,强度超出背景者为 1,反之,强度低于背景者为 -1,而双边反差相互抵消者为 0。以下是具体的检测过程。

4.1 直线方向检测原理

4.1.1 检测(D)阶段

所谓 D 阶段就是利用全方向直线方向算子对被处理图像,在每一个像素点处沿所有方向进行各向异性强度度量。设尺寸为 $I \times J$ 的含噪图像中被检测的当前点坐标是 (i,j) ,该点的灰度值是 $X(i,j)$,方向算子的方向是 $n = 1 \sim 4N$ 。则利用 $4N$ 个方向算子在图像中每一点测量得到的测度函数 M 是

$$M(i,j;n), i,j \in I,J, n = 1 \sim 4N \quad (6)$$

并且有

$$M(i,j;n) = \sum_{s,t \in Z_n} w_n(s,t) \cdot X(i+s,j+t),$$

$$i,j \in I,J, n = 1 \sim 4N \quad (7)$$

这样就得到了 $4N$ 个尺寸与图像尺寸相近的测度矩阵 $Me_n, n = 1 \sim 4N$, 其中

$$Me_n = \bigcup_{i,j \in I,J} M(i,j;n), n = 1 \sim 4N \quad (8)$$

4.1.2 淘汰(W)阶段

考核测度矩阵 \mathbf{Me}_n 中的每一个点 (i, j) , 如果在该点上或者该点附近有类直线或折线集合存在, 则该点的测度值会在与类直线或折线集合方向相近的数值上或者附近显示出各向异性, 并且该各向异性度量是检测方向与类直线或者折线组合方向接近和类似程度的凸函数。设该各向异性度量函数为

$$\mathbf{Fa}_k = \mathbf{Fa}_k(i, j; n, \alpha_k), \alpha_k = \pm 1, 0, \\ n = 1 \sim 4N, k = 1, 2, i, j \in I, J \quad (9)$$

其中 $k = 1, 2$ 分别表示内、外层度量函数, α 的意义是反差符号。 $\alpha = 1$ 表示 \mathbf{Fa} 在点 (i, j) 沿方向 n 强于背景, $\alpha = -1$ 表示 \mathbf{Fa} 在点 (i, j) 沿方向 n 弱于背景, $\alpha = 0$ 则表示双边反差抵消。

如果函数 \mathbf{Fa} 的绝对值在点 (i, j) 上超过某一个合适的门限 T , 即

$$|\mathbf{Fa}_1| > T(\sigma_n), \text{ or } |\mathbf{Fa}_2| > T(\sigma_n), \quad (10)$$

则判断图像在点 (i, j) 沿方向 n 存在类直线组合。根据就近原则, 在当前点记载内层强度度量函数 $\mathbf{Fa} = \mathbf{Fa}_1$ 。其中 σ_n 是干扰噪声的标准偏差(电平), 而 T 是该电平 σ_n 的函数。

4.2 竞争(C)阶段

一般情况下, 在图像中出现类折线组合像素集合机会不是很多, 所以, 淘汰阶段过后得到的点集合在整个图像内构成一个稀疏矩阵。这样在下一步的折线分析过程中就可以利用比较细致的原则进行与实际折线集合的“曲线拟合”。

首先将各向异性强度矩阵 \mathbf{Fa} 中经淘汰剩下的元素在图像的 $I \times J$ 点阵中关于 (i, j) 汇总, 得到一个关于坐标 (i, j) 和方向 n 均稀疏分布的 $I \times J$ 阶稀疏类矩阵 \mathbf{Fa}_Σ 。处于简单直线上或者附近的点的方向 n 只有一个, 或者较少; 而处于复杂折线组合上或者附近的点的方向不止一个, 或者较多。 \mathbf{Fa}_Σ 表示为

$$\mathbf{Fa}_\Sigma = \{ \mathbf{Fa}_n[i, j; G(n, \alpha_n)] \}_{n \in 1, 4N}, \\ i, j \in I, J, \alpha_n = \pm 1, 0, \quad (11)$$

其中 α_n 的意义与(9)式 \mathbf{Fa} 中的 α 的意义相同, 其不同在于 α_n 表示在 n 方向上的反差符号; G 表示一个集合符号, 并且有

$$G(n, \alpha_n) = \begin{cases} n, \alpha_n, & |n| = 1, \\ \cup (n, \alpha_n), & |n| > 1, \end{cases} \quad (12)$$

其中 $|n|$ 表示矩阵 \mathbf{Fa}_Σ 在某点上的各向异性方向个数, 简称为方向个数。

竞争阶段主要是处理 \mathbf{Fa}_Σ 中方向个数大于 1 的点的折线分析。 $|n| > 1$ 说明在当前点上或者附近存

在复杂结构的折线组合, 根据 \mathbf{Fa}_Σ 所显示的不同独立方向, 进行所有可能联合方向的折线检测。将每一个联合方向上的检测结果进行统一评价对比, 评价结果最优者获胜。这就是所谓的竞争过程。

竞争过程分两个阶段: 第一是反差极性竞争阶段, 第二是寻优竞争阶段。反差极性竞争的目的是确定强度(灰度级)大者获胜还是强度小者获胜, 该过程的结果决定最终的凸凹优化原则, 其对应的评价函数是

$$f_a = \sum_{n \in \cup (n, \alpha_n)} \alpha_n |\mathbf{Fa}_n|. \quad (13)$$

如果 $f_a \geq 0$, 则判定折线的状态为正反差, 并淘汰所有负反差组合; 如果 $f_a < 0$, 则判定折线的状态是负反差, 并淘汰所有正反差组合。这是一个典型的少数服从多数, 弱势服从强势且略微偏重于正反差的原理。第二阶段的寻优竞争类似于通常的二次凸优化过程, 如果设在当前点 (i, j) 最终获胜的联合方向是 (n_1, n_2) , 则有

$$(n_1, n_2) = \arg \{ \max_{n_l, n_p \in \cup n} \mathbf{Fa}_n[i, j; (n_l, n_p)] \}, \\ \text{if } f_a \geq 0, i, j \in I, J, \quad (14)$$

或者是

$$(n_1, n_2) = \arg \{ \min_{n_l, n_p \in \cup n} \mathbf{Fa}_n[i, j; (n_l, n_p)] \}, \\ \text{if } f_a < 0, i, j \in I, J. \quad (15)$$

5 滤波(F)阶段, 折线组合重构原理

重构阶段主要完成三个任务: 一是连接和充实折线组合的邻域系统, 因为解析过程得到的折线组合往往是一些相互不连续的离散点集, 而这些点各自代表具有特定方向和结构(连接提示信息)的折线集合; 二是增强解析得到折线组合的对比度, 因为通过解析滤波器得到信号的强度和细节层次总是低于实际相关像素的相关数值; 三是剔除或抑制混杂的虚假折线组合成分, 因为局域滤波不可避免地可能夹杂进入了本不属于实际折线组合的相关邻域像素。

连接和充实需要平滑滤波器, 灰度增强和剔除虚假成分需要短支撑域滤波。设经过解析阶段得到的结果是 \mathbf{Fa} , 则有

$$\mathbf{Fa} = \mathbf{Fa}[i, j; (n_{i1}, n_{i2})], \\ n_{i1}, n_{i2} \in 1 \sim 4N, i, j \in I, J. \quad (16)$$

在 $I \times J$ 图像区域内, 其元素是稀疏分布并标有独立和联合方向指示信息的一些点集合, 并且在每一个稀疏点只提供一种方向信息。建立紧支撑合成滤波器 h (支撑域短于方向算子长度), 并且设该滤波器

的支撑域 Z_{h_s} 是和滤波器序列 h_s 分别是

$$\begin{aligned} Z_{h_s}(i, j) &\subset (n_{i1}, n_{i2}), \\ h_s(i, j; r, t) &= \{h(i+r, j+t)\}_{(r,t) \in Z_{h_s}}. \end{aligned} \quad (17)$$

利用该滤波器在被处理图像的“获胜点”周围沿标有独立或者联合的方向指示进行滤波。设合成结果是 Fs , 该过程具体表示为

$$\begin{aligned} Fs(i, j) &= \sum_{(r,t) \in Z_{h_s}} h(i+r, j+t) X(i+r, j+t), \\ i, j &\in I, J. \end{aligned} \quad (18)$$

最终合成的结果 Fs 就是需要恢复的线像素

集合。

6 相关算法的实现和测试检验

6.1 方向算子的具体设计

综合考虑到噪声抑制作用、折线组合形状复杂程度和计算复杂度限制, 采用的方向算子的指标是 $M=7, N=4$, 即采用支撑域长度为 7, 直线方向算子总数为 16, 并采用统一均匀的权值序列。其中斜率不超过 1 的 5 个算子支撑域分别是

$$\begin{aligned} Z_1 &= [(0, -3), (0, -2), (0, -1), (0, 0), (0, 1), (0, 2), (0, 3)], \\ Z_2 &= [(-1, -3), (-1, -2), (0, -1), (0, 0), (0, 1), (1, 2), (1, 3)], \\ Z_3 &= [(-2, -3), (-1, -2), (-1, -1), (0, 0), (0, 1), (1, 2), (1, 3)], \\ Z_4 &= [(-2, -3), (-2, -2), (-1, -1), (0, 0), (0, 1), (1, 2), (2, 3)], \\ Z_5 &= [(-3, -3), (-2, -2), (-1, -1), (0, 0), (1, 1), (2, 2), (3, 3)], \end{aligned}$$

它们对应的斜率分别是 0, 1/3, 1/2, 2/3, 1。其他算子的支撑域可以通过对称性一一推得。统一的权值序列是

$$w = \frac{1}{7} [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1].$$

淘汰门限 $T = 1.05\sigma_n$, 合成滤波器序列是 $h_s = \frac{1}{3} [1, 1, 1]$, 其支撑域长度是 5。

6.2 图像加噪和类线像素恢复实验结果

为考核算法的有效性和性能, 分别选择图像库中具有丰富类线像素 rice, circuit, tire 和 liftingbody 作为污染对象, 噪声标准偏差分别是 0.1, 0.15 和 0.2, 然后利用本算法进行线条恢复, 而无类线像素的局部用均值滤波进行去噪, 具体实验结果如图 3~图 6 所示。

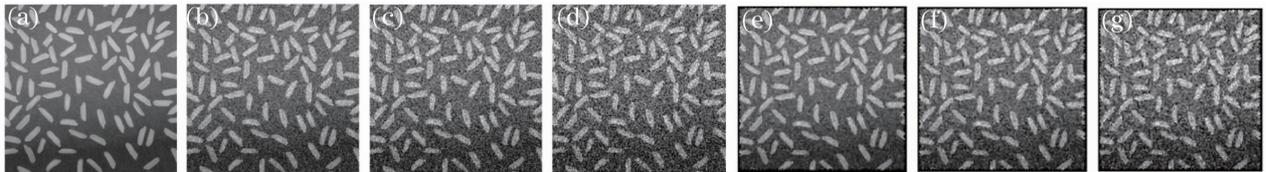


图 3 rice 的加噪和类线像素恢复结果。原始图像 (a); 加噪图像, 噪声标准偏差为 (b) 0.1; (c) 0.15; (d) 0.2; (e), (f), (g) 分别由 (b), (c), (d) 得到的恢复图像

Fig. 3 Noising and line similar pixels restoring result of "rice". original image (a); noising image, noise deviation is (b) 0.1; (c) 0.15; (d) 0.2; (e), (f), (g) restored image of (b), (c), (d)

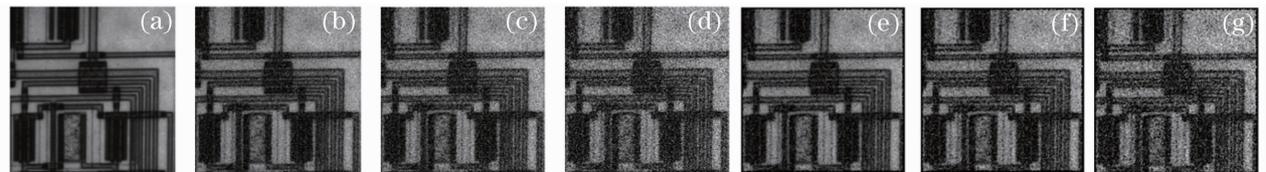


图 4 rcircuit 的加噪和类线像素恢复结果。原始图像 (a); 加噪图像, 噪声标准偏差为 (b) 0.1; (c) 0.15; (d) 0.2; (e), (f), (g) 分别由 (b), (c), (d) 得到的恢复图像

Fig. 4 Noising and line similar pixels restoring result of "circuit". original image (a); noising image, noise deviation is (b) 0.1; (c) 0.15; (d) 0.2; (e), (f), (g) restored image of (b), (c), (d)

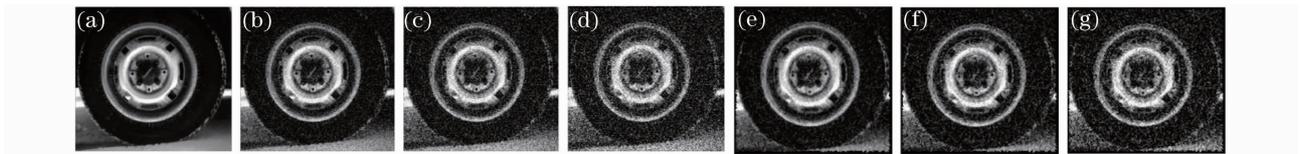


图 5 tire 的加噪和类线像素恢复结果。原始图像(a);加噪图像,噪声标准偏差为(b) 0.1 ;
(c) 0.15; (d) 0.2;(e), (f), (g)分别由(d), (b), (c) 得到的恢复图像

Fig.5 Noising and line similar pixels restoring result of "tire". original image (a); noising image, noise deviation is (b) 0.1; (c) 0.15; (d) 0.2; (e), (f), (g) restored image of (b), (c), (d)

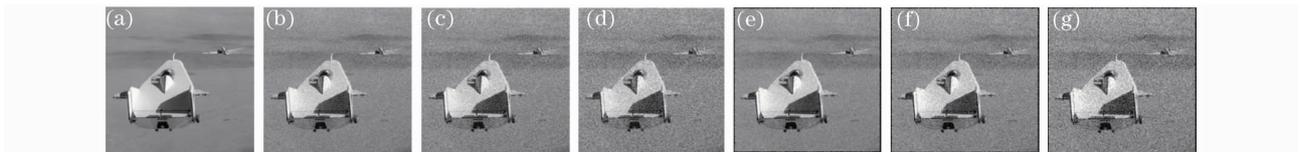


图 6 liftingbody 的加噪和类线像素恢复结果。原始图像(a);加噪图像,噪声标准偏差为(b)0.1 ;
(c), (d)0.2;(e), (f), (g)分别由(b), (c), (d)得到的恢复图像

Fig.6 Noising and line similar pixels restoring result of "liftingbody". original image (a); noising image, noise deviation is (b) 0.1; (c) 0.15; (d) 0.2; (e), (f), (g) restored image of (b), (c), (d)

考核本算法对含噪人物图像中类线像素的恢复能力。选择 lena 图像,噪声电平为 0.1,恢复的结果如图 7 所示。



图 7 lena 图像的加噪和类像素恢复结果
(a) 原始图像;(b) 加噪图像;(c) 恢复图像

Fig.7 Noising and line similar pixels restoring result of "lena" (a) original image; (b) noising image;
(c) restored image

从主观评价的角度出发,以上的图 3~图 7 均不同程度地体现了本文算法的有效性、可靠性和一致性。

7 对本算法的客观评价

7.1 客观评价指标和评价方法

与目标检测类似,评价指标分别是检测率,漏报率和虚警率。检测到目标的最低标准是,原始图像中的每一个类像素集合中的半数以上的像素得到恢复;漏报的最低标准是原始类线像素中高于半数以上的像素点没有得到恢复;虚警的最低标准是在原本没有类像素集合的局部恢复出了连续的虚假线条。检测区域是刨除图像边框(行,列为半个方向算子长度)的整个图像。评价结果以打分的形式给出,三个指标各自的满分是 10,检测率分数等于检测率乘 10;漏报率和虚警率的分数分别是 10 分减去 10

乘以它们各自的百分比。总分达到 18 分者及格,23~26分良好,27 分以上优秀。

7.2 各图例的评价结果

在以上的五个图例中,rice 的分数最高,其中噪声电平为 0.1 和 0.15 的图例均为优秀,噪声电平为 0.2 的图例为良好;circuit 的分数分别是优秀,良好和及格;tire 和 lifitingbody 的分数是良好,及格和及格;lena 图像的分数是及格。

利用此客观评价标准对 cameraman 的加噪(噪声电平是 0.1)和线条恢复结果进行评价,成绩是不及格。主要原因有二个:一是该图的背景线条对比度较低,二是其中有相当一部分草地(纹理图像)。

7.3 本算法的极限和不足

本算法的类线像素恢复质量与干扰噪声的电平密切相关,对比度超过噪声平均电平 2 倍以上的线条恢复质量很好;对比度低于噪声平均电平的线条几乎没有得到恢复;对比度介于两者之间的线条恢复质量随噪声电平的增长逐渐下降。对尺寸(及 2 倍曲率半径)小于半个算子长度的类线像素恢复结果出现混乱。另外对平均尺寸较小的纹理图像几乎没有恢复作用。

8 结 论

提出了一种方向算子的各向异性检测结构,给出了算子集合的统一规范形式。同时也提出了一种非正交、非 PR 的类线像素解析和重构模式,通过测量,淘汰,竞争和紧支撑平滑滤波,采取由简到繁,由直线到折线,少数服从多数和弱势服从强势的简化

原则,完成含噪图像中的类线像素的搜索和恢复任务。利用丰富的实验来检查提出算法的有效性,一致性和可靠性,得到了满意的结果。对利用算法的恢复结果作了如实的客观评价,指出了算法的极限和不足。

参 考 文 献

- 1 Jacob Scharcanski, Claudio R. Jung, Robin T. Clarke. Adaptive image denoising using scale and space consistency[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2002, **11**(9): 1092~1101
- 2 Shen Yuantong, Li Hongwei. An interval B-spline wavelet method for solution singular differential equation [J]. *Mathematica Appl Icata*, 2004. **17**(2): 310~314
- 3 Hyeokho Choi, Richard G. Baraniuk. Multiple wavelet basis image denoising using besov ball projections [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2004. **11**(11): 717~720
- 4 Eric J. Balster, Yuan F. Zheng, Robert L. Ewing. Feature-based wavelet shrinkage algorithm for image denoising[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005, **14**(12): 2024~2039
- 5 Lei Zhang, Paul Bao, Xiaolin Wu. Multiscale LMMSE-based image denoising with optimal wavelet selection [J]. *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, **15**(4): 469~481
- 6 Junmei Zhong, Ruola Ning. Image denoising based on wavelets and multifractals for singularity detection [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2005, **14**(10): 1435~1447
- 7 Peng-lang Shui. Image denoising algorithm via doubly local wiener filter with directional windows in wavelet domain [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2005, **12**(10): 681~684
- 8 Aleksandra Pizurica, Wilfried Philips. Estimating the probability of the presence of a signal of interest in multiresolution single and multiband image denoising [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, **15**(3): 654~665
- 9 Xin Wang. Moving window-based double haar wavelet transform for image processing [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, **15**(9): 2771~2779
- 10 Mohsen Ghazel, George H. Freeman, Edward R. Vrscay. Fractal-wavelet image denoising revisited [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006, **15**(9): 2669~2675
- 11 Max Mingnotte. A post-processing deconvolution step for wavelet-based image denoising methods [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2007, **24**(9): 621~624
- 12 Florian Luisier, Thierry Blu. Sure-let multichannel image denoising; interscale orthonormal wavelet thresholding[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2008, **17**(4): 482~492
- 13 Lixin Shen, Manos Papadakis, Ioannis A. Kakasiaris *et al.*. Image denoising using a tight frame[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006, **15**(5): 1254~1263
- 14 Michael Elda, Michal Aharon. Image denoising via sparse and redundant representations over learned dictionaries[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2006, **15**(12): 3736~3745
- 15 Max Mignotte. Image denoising by averaging of piecewise constant simulations of image partitions[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2007, **16**(2): 523~533
- 16 Kostadin Dabov, Alessandro Foi, Vladimir Katkovnik *et al.*. Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2007, **16**(8): 2080~2095
- 17 Wen Xinling, Xiao Yang. The 2-D directional DCT-DWT hybrid transform and its application in denoising ultrasound Image[C]. *ICSP2008 Proceedings*, 2008, **3**(1): 946~949
- 18 Chen Dake, Wang Ke. Second fusion algorithm of satellite images by a trous curvelet transform [C]. *ICSP2008 Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc*, 2008, **3**(1): 928~931
- 19 Wei Yajie, Yang Quanyin, Wang Xin. Finite ridgelet transform for low bit rate image compression[C]. *ICSP2008 Proceedings*, 2008, **3**(1): 957~960
- 20 Wu Yewen, Wang Junfeng. Detection of ship wakes in SAR images based on radon transform[C]. *ICSP2008 Proceedings*, 2008, **3**(1): 969~972
- 21 Jone K. Goutsias. Mutually compatible gibbs random fields[J]. *IEEE Trans. Information Theory*, 1989. **35**(6): 1233~1249
- 22 Mehmet I. Gurelli, Levent Onural, On a parameter estimation method for gibbs-markov random fields[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994. **16**(4): 420~430
- 23 Joseph M. Francos. Cramer-Rao bound on the estimation accuracy of complex-valued homogeneous gaussian random fields [J]. *IEEE Trans. Signal Processing*, 2002, **50**(3): 710~724
- 24 Florence Forbes, Gersende Fort. Combining Monte Carlo and mean-field-like method for inference in hidden Markov random fields[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2007, **16**(3): 824~837
- 25 Kuwsoro Adi, Mengko Tati L. R *et al.*. Digital image restoration using posterior distribution and updating pixel by self threshold [C]. *SICE-ICASE International Joint Conference*, 2006, 5707~5710
- 26 Xia Limin. Image restoration based on particle filters [C]. *ICSP'04 proceedings*, 2004, 1084~1087
- 27 Guoping Zeng, Ruizhen Zhao. Image denoising using least squares wavelet support vector machines [J]. *Chinese Optics Letters*, 2007, **5**(11): 632~635
- 28 Jianmei Li, Changhou Lu, Xueyong Li *et al.*. Local and global Gabor features for raised character recognition[J]. *Chinese Optics Letters*, 2008, **6**(3): 172~175
- 29 Lijun Jiang, Yongxing Luo, Jun Zhao *et al.*. Hepatic CT image retrieval based on the combination of Gabor filters and support vector machine [J]. *Chinese Optics Letters*, 2008, **6**(7): 495~498
- 30 Xiaojun Jiang, Aijun Zeng, Huijie Huang *et al.*. Research on identifying the order of fringe pattern traces using angular scan and zone search method[J]. *Chinese Optics Letters*, 2008, **6**(4): 264~267
- 31 Li Yufeng. Research on Application of Wavelet Analysis in Image Denoising and Compression [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences. 2006: 44~56
李玉峰. 小波分析在图像去噪与压缩中的应用研究[D]. 北京: 中国科学院. 2006.: 44~56